

## Doctoral Thesis

# Acquisition of coordinated finger movements through motor skill learning (Digest)

Masato Hirano

Graduate School of Integrated Arts and Sciences  
Hiroshima University

March 2018

# CONTENTS

## Chapter 1

|   |    |
|---|----|
| General Introduction.....   | 1  |
| 1.1 Motor module theory.....  | 7  |
| 1.2 Changes in movement organization induced by motor skill learning.....     | 8  |
| 1.3 Motor skill learning induces plasticity in the corticospinal system ..... | 9  |
| 1.4 Transcranial magnetic stimulation.....                                    | 11 |
| 1.5 Summary of the aim of the thesis .....                                    | 16 |

## Chapter 2

|  |    |
|--|----|
| The acquisition of skilled finger movements is accompanied by the reorganization of the corticospinal system ..... | 18 |
| 2.1 Introduction .....   | 18 |
| 2.2 Materials and Methods .....  | 20 |
| 2.2.1 Subjects.....  | 20 |
| 2.2.2 Serial reaction time task.....   | 20 |
| 2.2.3 Transcranial magnetic stimulation and recording of finger movements .....                                    | 22 |
| 2.2.4 Data analysis of finger movements.....   | 24 |
| 2.2.5 Principal component analysis .....   | 25 |
| 2.2.6 Similarity of the pre- and post-training PC waveforms .....  | 25 |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.7 Reconstruction of finger joint movements based on PC .....                    | 26 |
| 2.2.8 Experiment 2.....   | 26 |
| 2.2.9 Statistics .....  | 27 |
| 2.3 Results .....   | 28 |
| 2.3.1 Performance of SRTT .....   | 28 |
| 2.3.2 Covariation patterns of finger movements during the SRTT .....                | 29 |
| 2.3.3 Coordination of finger movements evoked by TMS .....                          | 35 |
| 2.3.4 Association between voluntary and TMS-evoked finger movements .....           | 39 |
| 2.3.5 Experiment 2.....   | 41 |
| 2.4 Discussion.....   | 43 |
| 2.4.1 Finger coordination during the SRTT .....                                     | 45 |
| 2.4.2 Finger coordination in passive TMS-evoked movements .....                     | 47 |
| 2.5 Conclusion.....   | 50 |
|   |    |
| Chapter 3   |    |
| Reorganization of finger coordination through acquisition of novel finger movements | 51 |
| 3.1 Introduction .....  | 51 |
| 3.2 Materials and Methods .....   | 52 |
| 3.2.1 Subjects.....   | 52 |
| 3.2.2 Recording of finger joint movements.....                                      | 53 |
| 3.2.3 Finger movements seen in daily life .....                                     | 53 |

|   |    |
|---|----|
| 3.2.4 Principal component analysis .....                              | 55 |
| 3.2.5 Finger configuration task .....                                 | 55 |
| 3.2.6 Finger movements evoked by TMS.....                             | 57 |
| 3.2.7 Reconstruction of finger joint movements based on PC .....      | 59 |
| 3.2.8 Statistical analysis.....                                       | 59 |
| 3.3 Results .....   | 60 |
| 3.3.1 Performance of the novel finger configuration task .....        | 60 |
| 3.3.2 Covariation patterns of TMS-evoked finger joint movements ..... | 62 |
| 3.4 Discussion.....   | 70 |
| <br>  |    |
| Chapter4  |    |
| General discussion and conclusion.....                                | 75 |
| <br>  |    |
| Reference .....   | 81 |
| Related papers associated with this doctoral thesis .....             | 90 |
| Acknowledgements .....  | 91 |

## 要約

本論文は、手指を用いた運動スキルが皮質脊髄系にどのように獲得されるか、運動モジュール制御仮説の観点から述べたものであり、4章から構成される。本研究は、第2章で系列手指運動の学習、第3章で新規手指動作の学習による運動モジュール構造の再組織化について述べられている。これらでは、ヒトの皮質脊髄系を非侵襲的に刺激しその反応を評価できる経頭蓋磁気刺激法 (transcranial magnetic stimulation: TMS) と、データグローブを用いた手指運動の記録、多変量解析手法を組み合わせることで、皮質脊髄系に表現される手指関節間の協調構造である運動モジュール構造を抽出し、運動モジュール制御仮説の観点から運動スキルが皮質脊髄系に獲得される機序を明らかにした。以下に各章の概要を記述する。

第1章では、本研究の背景に関して、手指運動の特徴、運動モジュール制御仮説、実験で使用した主な手法の整理及び解説を行った。

第2章では、手指を用いた系列運動の学習に伴う運動モジュール構造の再組織化について述べられている。手指を用いた系列運動の学習前後において、TMSを用いた大脳皮質一次運動野の刺激で誘発される手指運動をデータグローブで記録し、そのデータから主成分分析を用いて運動モジュール構造を抽出した。その結果、運動モジュール構造が学習によって獲得した手指運動の協調関係をコードするように再組織化されることが明らかとなった。また、運動モジュール構造の再組織化は、系列運動の暗黙的学習と関連することも明らかとなった。

第3章では、新規手指動作の学習に伴う運動モジュール構造の再組織化について述べられている。本研究では、新規手指動作を学習させるために Finger configuration task を開発した。課題を用いて新規手指動作を学習する前後に TMS・データグローブを用いて誘発手指運動を記録し、主成分分析を用いて運動モジュール構造を抽出、評価した。その結果、①運動モジュール構造が学習によって獲得した新規手指動作をコードするように再組織化されること、②その再組織化は既存の運動に対して影響を与えないことが明らかとなった。

第4章では、第2章と第3章で得られた知見の総合考察を論じた。本研究から新たに得られた知見は、①系列手指運動の暗黙的学習によって運動モジュールが再組織化される。②新規手指動作の獲得に伴い、皮質脊髄路に表現される運動モジュールが再組織化される。③再組織化された運動モジュールは、既存動作と新規動作の両方を記述できるものである。

本研究はヒトの手指運動に関して運動モジュール制御仮説に基づき、新規手指動作の獲得メカニズムを明らかにしたものである。その成果は、神経科学分野だけでなく、新規手指運動スキルの獲得効率の促進や、ヒトの手指のように多様な運動を生成可能なロボットハンド・義手の開発、神経系の障害によって生じる手指運動機能の麻痺に対する新たなリハビリテーション法の確立など、様々な分野に応用可能であると考えられる。

### **Related papers associated with this doctoral thesis**

1. **Masato Hirano**, Shinji Kubota, Shinichi Furuya, Yoshiki Koizume, Shinya Tanaka, and Kozo Funase

The acquisition of skilled finger movements is accompanied by the reorganization of the corticospinal system. *Journal of Neurophysiology*, 2017; in press

2. **Masato Hirano** and Kozo Funase

Relationship between motor module and motor skill learning. *Advances in Exercise and Sports Physiology*, 2017; 23-3,41-45

3. **Masato Hirano**, Shinji Kubota, Yoshiki Koizume, Shinya Tanaka, and Kozo Funase

Different effects of implicit and explicit motor sequence learning on latency of motor evoked potential evoked by transcranial magnetic stimulation on the primary motor cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2017